

OBJECTIVE LENS

Patent Number: JP6331898
Publication date: 1994-12-02
Inventor(s): KASHIMA SHINGO
Applicant(s): OLYMPUS OPTICAL CO LTD
Requested Patent: ☐ JP6331898
Application Number: JP19930142513 19930524
Priority Number(s):
IPC Classification: G02B21/02; G02B13/18
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PURPOSE: To provide the objective lens which has a high power and a high NA and has various aberrations, especially, the chromatic aberration corrected without using multiple cemented lenses or abnormal dispersion glass by including one diffraction type optical element and one cemented lens.

CONSTITUTION: This objective lens includes at least one sheet of diffraction type optical element and one cemented lens. For the purpose of satisfactorily correcting the chromatic aberration, at least one sheet of diffraction type optical element satisfies conditions $D1/D > 0.8$ and $(hXf)/(LXI) > 0.07$ where D1 is the marginal luminous flux diameter to the position of the diffraction type optical element and D is the maximum marginal luminous flux diameter and (h) is the principal ray height on the surface of the diffraction type optical element and (f) is the focal length and I is the maximum image height on the specimen surface and L is the same focal length. Thus, the lens system is obtained, which has a high NA and a high power and has various aberrations, especially, the chromatic aberration satisfactorily corrected.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J.P.)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-331898

(43) 公開日 平成6年(1994)12月2日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 21/02 13/18	A	9120-2K 9120-2K		

審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平5-142513

(22) 出願日 平成5年(1993)5月24日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 鹿島 伸悟

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

ンパス光学工業株式会社内

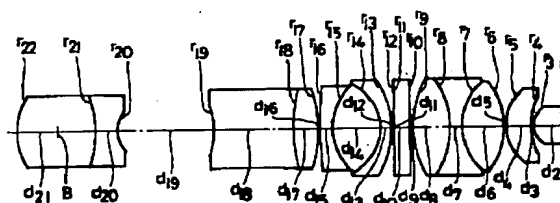
(74) 代理人 弁理士 向 寛二

(54) 【発明の名称】 対物レンズ

(57) 【要約】

【目的】 本発明の目的は、高倍率、高NAであっても接合レンズや異常分散硝子を多用することなしに諸収差、特に色収差を補正した対物レンズを提供することにある。

【構成】 本発明の顕微鏡対物レンズは、少なくとも一つの回折型光学素子と少なくとも一つの接合レンズ用いたもので、回折型光学素子のうち少なくとも一つを光束径が比較的大きくしかも主光線がある程度の光線高を持つ位置に配置している。



【特許請求の範囲】

【請求項1】少なくとも1枚の回折型光学素子と、少なくとも一つの接合レンズとを有することを特徴とする対物レンズ。

【請求項2】回折型光学素子の少なくとも1枚が次の条件(1)、(2)を満足する請求項1の対物レンズ。

$$(1) \quad D_1 / D > 0.8$$

$$(2) \quad (h \times f) / (L \times l) > 0.07$$

ただし、 D_1 は回折型光学素子の位置でのマージナル光束の径、 D は最大のマージナル光束径、 h は回折型光学素子の位置での主光線高、 f は対物レンズの焦点距離、 L は同焦点距離、 l は標本面での最大像高である。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、顕微鏡等の光学系に用いられる対物レンズに関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の対物レンズは、特に高倍率、高NAのものは、諸収差なかでも色収差を良好に補正するために多数の接合レンズを必要とし又異常分散ガラスを用いる必要があった。そのため高価にならざるを得ず、更に硝材が限定される紫外線や赤外線を用いられる対物レンズの場合設計が出来ないこともある。

＊

$$n \sin \theta = n' \sin \theta'$$

ただし、 n は入射側媒質の屈折率、 n' は出射側媒質の屈折率、 θ は光線の入射角、 θ' は光線の出射角である。

＊

$$n \sin \theta - n' \sin \theta' = m \lambda / d$$

ただし m は回折光の次数、 λ は波長、 d は格子間隔である。

【0009】上記の式(2)に従って光線を屈折させるようにした光学素子が回折型光学素子である。尚、図17では遮蔽部と透過部が間隔 d で並設されたものを示したが、図18のように透明体の表面に断面鋸歯状の回折面を設けてブレース化するか、図19のようにそのバイ★

$$1/f = (n-1) (1/r_1 - 1/r_2) \quad (3)$$

ただし、 f は焦点距離、 r_1 、 r_2 は夫々入射面と射出面の曲率半径、 n はレンズの屈折率である。

【0013】上記式(3)の両辺を波長 λ にて微分する☆

$$df/d\lambda = -f (dn/d\lambda) / (n-1)$$

$$\Delta f = -f \{ \Delta n / (n-1) \} \quad (4)$$

ここで係数倍的效果を除くと、 $\Delta n / (n-1)$ が分散特性を表わすことになるので、分散値 ν を次のように定◆

$$\nu \equiv (n-1) / \Delta n \quad (5)$$

したがって可視域における分散特性(アッペ数 ν_d)は次のようになる。

＊

$$\nu_d = (n_d - 1) / (n_r - n_c) \quad (6)$$

一方回折型光学素子の場合、次の式が成立する。回折型光学素子の焦点距離 f は、入射する平行光の光線高 h のところで格子間隔を d 、とすると下記の式(7)の

＊【0003】最近光学素子として回折型光学素子(DOE)

E)を用いた光学系が注目されている。この回折型光学素子を用いた対物レンズで、本発明の対物レンズと類似する従来例として、特開昭63-77003号、特開昭63-155432号、特開昭59-33636号、特開昭60-247611号、特開平2-1109号、特開平4-361201号の各公報に記載されたもの等がある。

【0004】又前記の回折現象を利用した回折型光学素子即ちディフラクティブ オプティクス エレメント [Diffraction Optics Elements (DOE)] は、オプトロニクス社発行の「光学デザイナーのための光学エレメント」第6、第7章、および William C. Sweatt 著「NEW METHODS OF DESIGNING HOLOGRAPHIC OPTICAL ELEMENTS」(SPIE, VOL. 126, P46-53, 1977)等に記載されているが、その原理を簡単に述べると下記の通りである。

【0005】通常の光学ガラスは、図16において次の式で表わされるスネルの法則に従って屈折する。

【0006】

(1)

＊【0007】一方、回折現象では、図17のように光は次の式で表わす回折の法則にしたがって曲げられる。

【0008】

(2)

★ナリー近似を行なうと高い回折効率を得ることが出来る。

【0010】次に上記のような回折型光学素子を使用することによる利点について説明する。

【0011】屈折系の薄肉レンズの場合、次の式(3)に示す関係が成立つ。

【0012】

(3)

☆と下記のように式(4)が求まる。

【0014】

◆義出来る。

【0015】

(5)

＊【0016】

(6)

ようになる。

【0017】

$$f = h / (n' \sin \theta') = (d_n h) / (m \lambda) \quad *$$

$$(7)$$

無収差の回折型光学素子の場合、 d_n 、 h は一定であるの *

で、 $f = C / \lambda$ (C は定数)である。この $f = C / \lambda$ の 【0018】

両辺を λ で微分すると次のようにして式(8)が得られ*

$$\begin{aligned} df / d\lambda &= -C / \lambda^2 = -f / \lambda \\ \Delta f &= -f (\Delta \lambda / \lambda) \end{aligned} \quad (8)$$

$\Delta n / (n - 1) = \nu$ であるので、式(4)と(8)と ※の可視域でのアッペ数 ν は下記の通りである。

から $\nu = \lambda / \Delta \lambda$ である。したがって、回折型光学素子※ 【0019】

$$\nu_s = \lambda_s / (\lambda_r - \lambda_c) = -3.453 \quad (9)$$

このように回折型光学素子は、非常に大きな負の分散特性 10 色収差を良好に補正したものである。

を持つ。通常のガラスの分散特性は、約20~95であるので、回折型光学素子は非常に大きな逆分散特性を持つことがわかる。また同様の計算により、回折型光学素子は異常分散を持つことがわかる。

【0020】前記従来例のうち、特開昭63-77003号、特開昭63-155432号、特開昭59-33636号、特開昭60-247611号公報のレンズ系は、いずれも光ディスクのピックアップレンズに関するものであり、回折型光学素子1~2枚、又は、屈折型光学素子(レンズ)1枚と回折型光学素子1枚よりなり、基本的には光源は単色であり、回折型光学素子の色収差の補正能力は利用されていない。

【0021】また、特開平2-1109号、特開平4-361201号公報のレンズ系は、いずれもステッパー等に用いられる撮影レンズに関するものであり、石英のみで構成されており、接合レンズは用いていない。特に前者の特開平2-1109号公報のレンズ系は、瞳位置に回折型光学系を配置したことを特徴としており、後者の特開平4-36201号公報のレンズ系は、回折型光学素子の周辺部では中心部より高次の回折光を用いること 20 を特徴としている。

【0022】しかし、これらの従来例は、ピックアップレンズタイプでは、より複雑な構成を要する顕微鏡対物レンズに対応できない。またステッパーレンズタイプは、低倍率の顕微鏡対物レンズには適用し得る可能性はあるが、高倍率、高NAの顕微鏡対物レンズには適用出来ない。つまり、対物レンズの色収差補正を回折型光学素子のみで行なう場合、回折型光学素子のパワーを強くしなければならず、回折型光学素子の最小ピッチが制作 30 不能なまで小さくなるためである。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、高倍率、高NAで、接合レンズや異常分散ガラスを多用することなしに諸収差、特に色収差を補正した対物レンズを提供することを目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】本発明の対物レンズは、少なくとも1枚の回折型光学素子と、少なくとも一つの接合レンズを含むことを特徴とするもので、少ない光学素子で特殊なガラス材料を用いることなしに諸収差特に 50

【0025】通常の対物レンズは、異なるアッペ数の硝材よりなるレンズを接合した接合レンズを用いて色収差を補正している。そして通常の硝材のアッペ数は20~95でいずれも正の値である。一方回折型光学素子のアッペ数は、前述のように負で小さい絶対値を有している。そのためこの回折型光学素子と通常のガラスのレンズとを組み合わせれば、強力な色収差補正作用を持たせることが出来る。

【0026】また、高級対物レンズでは色補正をアポクロマートにする必要があり、そのため異常分散硝子を多用しなければならない。しかし、これらの硝子は価格が高く、またその加工性も悪いものが多いため、これらの対物レンズをより高価なものとしている。この問題も回折型光学素子を用い、その大きな異常分散性を利用して解決することができる。

【0027】また、高NA・高倍率の対物レンズの色補正を回折型光学素子だけで行くと、そのパワーが強くなりすぎ最小ピッチが小さくなりすぎるが、少なくともひとつの接合レンズを用いることによって回折型光学素子と色補正を分担させ、その最小ピッチを緩める事が出来る。

【0028】更に色収差を良好に補正するためには、次の条件(1)、(2)を満足することが望ましい。

【0029】

$$(1) \quad D_s / D > 0.8$$

$$(2) \quad (h \times f) / (L \times l) > 0.07$$

ただし、 D_s は回折型光学素子の位置でのマージナル光束径、 D は最大のマージナル光束径、 h は回折型光学素子の面での主光線高、 f は焦点距離、 l は標本面での最大像高、 L は同焦距距離である。

【0030】色収差は、大きく分けて軸上色収差と倍率の色収差の2種類あり、前者は焦点位置の波長によるずれで、後者は焦点距離(倍率)の波長によるずれである。

【0031】これら色収差のうち、軸上色収差の補正を行なう上で最も効果的な位置は、対物レンズにおいては、瞳位置であるが、正確に瞳位置である必要はなく、この瞳の近傍で光束径(軸上マージナル光束径)の大きな所が、軸上色収差を補正する上で効果的である。これを考慮して定めたのが前記条件(1)である。この条件

(1.)において、下限の0.8以下になると他の屈折型光学素子(レンズ)で発生する軸上色収差を回折型光学素子で補正しきれなくなり、屈折型光学素子に多くの接合レンズを用いなければならず又異常分散ガラスを必要とし、回折型光学素子を用いたことによる効果が十分ではなくなる。

【0032】一方倍率の色収差を補正するのに最も効果的な位置は、瞳位置ではなくそこから少し離れた主光線がある程度の光線高を有する位置である。この倍率の色収差を効果的に補正するための回折型光学素子の配置位置を定めたのが条件(2)である。この条件(2)において下限の0.07を越えると倍率の色収差を十分補正出来ず、屈折型光学素子に接合レンズを多く用いたり、異常分散ガラスを用いる必要が生じ、回折型光学素子を用いたことによる効果が十分得られない。尚条件(2)において f/L はこの条件を正規化するためのもので、 f/L は主光線角のパラメーター、 L は光学系全体の大きさのスケールアップのためのパラメーターである。

【0033】以上述べたように、本発明の対物レンズにおいては、その用途に応じて適切な回折型光学素子を前記の条件(1)、(2)を満足する位置に配置することが、特に色収差を一層良好に補正する上でより好ましい。

【0034】尚、レンズ系中に接合レンズと回折型光学素子とを少なくとも1つずつ用いて色収差の補正を分担させるためには、少なくとも一つの接合レンズの両レンズのアップ数差 $\Delta\mu$ が下記条件(3)を満足することが好ましい。

【0035】(3) $\Delta\mu > 20$

$\Delta\mu$ がこの条件(3)の下限の20より小になると接合レンズによる色収差の補正作用が不十分になり、回折型光学素子の最小ピッチをあまり大きくできなくなる。

【0036】更に回折型光学素子は、その格子間隔を任*

$$(n_u - 1) dz / dh = n \sin \theta - n' \sin \theta' \quad (11)$$

ただし、 n_u はウルトラハイ インデックス レンズの屈折率、 z はウルトラハイ インデックス レンズの光軸方向の座標、 h は光軸からの距離、 n 、 n' はそれぞれ入射側媒質および射出側媒質の屈折率、 θ 、 θ' は光線の入射角および射出角である。尚後に示す実施例*

$$(n_u - 1) dz / dh = m \lambda / d \quad (12)$$

即ち、ウルトラハイ インデックス レンズ(屈折率が極めて大きい屈折型レンズ)の面形状と回折型光学素子のピッチとの間には式(12)で与えられる等価関係が成立し、この式を通じてウルトラハイ インデックス 法で設計したデータから回折型光学素子のピッチを★

$$z = ch^2 / [\{ 1 - c^2 (k+1) h^2 \}^{1/2}] + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + \dots \quad (13)$$

ただし、 z は光軸(像の方向を正)、 h は面と z 軸との交点を原点とし z 軸に直交した座標軸のうちメリジオナル方向の座標軸、 c は基準面の曲率、 k は円錐定数で

*意に設定し得ると云う製作上の特徴を有している。したがって、回折型光学素子は、格子間隔を種々に変えることにより任意の非球面レンズと等価的作用を得ることができ、しかも変曲点が多数あってもよい等通常の非球面レンズよりも設計の自由度が大であり、制作精度も良い。その上非球面レンズでは補正出来ない色収差の補正が可能である。又屈折率分布型レンズは、色収差の補正が可能であるが、実際に制作可能な屈折率分布型レンズは限られており、又紫外線や赤外線には十分対応し得ない。このように、回折型光学素子は、非球面レンズや屈折率分布型レンズよりも優れた収差補正能力を有すると共に製作上も有利である。したがって、本発明のように、これを対物レンズに用いることによって、対物レンズの高性能化、コストの低減が可能であり、更に従来不可能であった新しい対物レンズの設計等が可能になる。

【0037】

【実施例】次に本発明の実施例について説明する。まず本発明の実施例で用いる回折型光学素子について更に詳細に述べる。後に示す実施例で用いられている回折型光学素子(DOE)は既に述べた通りのものであるが、このような回折型光学素子を含む光学系の設計法として、ウルトラハイ インデックス法(ultrahigh index methods)と呼ばれるものが知られている。これは、回折型光学素子を屈折率をきわめて大きい仮想的なレンズ(ウルトラハイインデックスレンズ)に置き換えて設計する方法である。このことについては、SPIE 126巻46-53頁(1977年)に記載されているが図20を用いて簡単に説明する。図20において1はウルトラハイ インデックスレンズ、2は法線である。このウルトラハイ インデックス レンズにおいては、次の式(11)で表わされる関係が成立つ。

【0038】

$$(n_u - 1) dz / dh = n \sin \theta - n' \sin \theta' \quad (11)$$

※のデータでは $n_u = 1001$ 又は 10001 としている。

【0039】式(2)および(11)から次の式(12)が求まる。

【0040】

$$(n_u - 1) dz / dh = m \lambda / d \quad (12)$$

★定めることができるのである。

【0041】一般的な軸対称非球面は、下記のように表わされる。

【0042】

A 、 B 、 C 、 D ・・・は夫々、4次、6次、8次、10次、・・・の非球面係数である。

【0043】式(12)、(13)よりある光線高にお

ける上記非球面と等価の回折型光学素子のピッチdは、* 次式(14)で表わされる。

$$d = m\lambda / \left[(n-1) \left\{ ch / (1-c^2 (1+k) h^2)^{1/2} + 4Ah' + 6Bh'^2 + 8Ch'^3 + 10Dh'^4 + \dots \right\} \right] \quad (14)$$

尚以下の実施例では、非球面項として10次までであるが、12次、14次、...の非球面項を使用してもよい。

【0044】次に各実施例のデーターを示す。

※実施例1

焦点距離=3.6mm, NA=1.1(水浸), 倍率=100, 同

焦距離=45mm

標本面最大像高=0.05mm

$r_0 = \infty$ (物体面)	$d_0 = 0.17$	$n_0 = 1.521$	$\nu_0 = 56.02$
$r_1 = \infty$	$d_1 = 0.12$	n_1, ν_1	(水)
$r_2 = \infty$	$d_2 = 2.5814$	$n_2 = 1.596$	$\nu_2 = 39.3$
$r_3 = -2.0016$	$d_3 = 0.15$		
$r_4 = -6.6313$	$d_4 = 2.2727$	$n_3 = 1.678$	$\nu_3 = 55.34$
$r_5 = -4.4815$	$d_5 = 0.15$		
$r_6 = 7.2872$	$d_6 = 3.7582$	$n_4 = 1.488$	$\nu_4 = 70.21$
$r_7 = -5.6995$	$d_7 = 1.0$	$n_5 = 1.678$	$\nu_5 = 55.34$
$r_8 = 8.2626$	$d_8 = 3.3432$	$n_6 = 1.497$	$\nu_6 = 81.14$
$r_9 = -9.3735$	$d_9 = 0.15$		
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 1.5$	$n_7 = 1.516$	$\nu_7 = 64.14$
$r_{11} = \infty$	$d_{11} = 0$		
$r_{12} = -5.5443 \times 10^6$ (DOE)	$d_{12} = 0.15$	$[n_8 = 10001]$	
$r_{13} = 8.6431$	$d_{13} = 1.0$	$n_8 = 1.678$	$\nu_8 = 55.34$
$r_{14} = 4.7497$	$d_{14} = 4.2904$	$n_9 = 1.497$	$\nu_9 = 81.14$
$r_{15} = -5.7355$	$d_{15} = 1.0$	$n_{10} = 1.596$	$\nu_{10} = 39.29$
$r_{16} = -55.2542$	$d_{16} = 0.15$		
$r_{17} = 12.1862$	$d_{17} = 2.2382$	$n_{11} = 1.497$	$\nu_{11} = 81.14$
$r_{18} = -14.3804$	$d_{18} = 7.0$	$n_{12} = 1.596$	$\nu_{12} = 39.29$
$r_{19} = 7.3769$	$d_{19} = 8.5761$		
$r_{20} = -2.9707$	$d_{20} = 2.0598$	$n_{13} = 1.678$	$\nu_{13} = 55.34$
$r_{21} = 11.1831$	$d_{21} = 7.0$	$n_{14} = 1.596$	$\nu_{14} = 39.3$
$r_{22} = -7.1268$			

(DOE面)

$K = -1$, $A = 0.282845 \times 10^{-8}$, $B = -0.695088 \times 10^{-10}$

$C = 0.643649 \times 10^{-11}$, $D = -0.321846 \times 10^{-11}$

$D_1 / D = 0.99$, $(h \times f) / (L \times I) = 0.064$, 最小ピッチ=130 μm

★【0045】実施例2

焦点距離=9mm, NA=0.6(水浸), 倍率=20, 同焦距離=45mm

標本面最大像高=0.25mm

$r_0 = \infty$	$d_0 = 0.17$	$n_0 = 1.521$	$\nu_0 = 56.02$
$r_1 = \infty$	$d_1 = 0.12$	n_1, ν_1	(水)
$r_2 = \infty$	$d_2 = 1.0$	$n_2 = 1.516$	$\nu_2 = 64.15$
$r_3 = \infty$	$d_3 = 1.3056$		
$r_4 = -3.8226$	$d_4 = 1.5$	$n_3 = 1.744$	$\nu_3 = 44.79$
$r_5 = -96.9912$	$d_5 = 2.2154$	$n_4 = 1.755$	$\nu_4 = 27.51$
$r_6 = -5.4626$	$d_6 = 0.15$		
$r_7 = -19.8772$	$d_7 = 2.2181$	$n_5 = 1.487$	$\nu_5 = 70.21$
$r_8 = -6.7810$	$d_8 = 0.15$		
$r_9 = -8.6681$	$d_9 = 1.5$	$n_6 = 1.639$	$\nu_6 = 34.48$
$r_{10} = 61.1760$	$d_{10} = 3.7076$	$n_7 = 1.487$	$\nu_7 = 70.21$
$r_{11} = -7.8096$	$d_{11} = 0.15$		
$r_{12} = 58.3918$	$d_{12} = 3.5924$	$n_8 = 1.487$	$\nu_8 = 70.21$
$r_{13} = -9.6113$	$d_{13} = 1.5$	$n_9 = 1.749$	$\nu_9 = 34.96$
$r_{14} = -41.0966$	$d_{14} = 0.15$		

9

10.

$r_{11} = 19.2027$	$d_{11} = 1.5$	$n_{10} = 1.603$	$\nu_{10} = 42.32$
$r_{16} = 11.9017$	$d_{16} = 3.6322$	$n_{11} = 1.487$	$\nu_{11} = 70.21$
$r_{17} = -76.0706$	$d_{17} = 0.15$		
$r_{18} = -800896.0617$ (DOE)	$d_{18} = 0$	$[n_0 = 1001]$	
$r_{19} = \infty$	$d_{19} = 2.0$	$n_{12} = 1.516$	$\nu_{12} = 64.15$
$r_{20} = \infty$	$d_{20} = 14.1927$		
$r_{21} = 23.9945$	$d_{21} = 2.9486$	$n_{13} = 1.762$	$\nu_{13} = 40.1$
$r_{22} = -31.1050$	$d_{22} = 1.5$	$n_{14} = 1.487$	$\nu_{14} = 70.21$
$r_{23} = 10.0681$			

(DOE面)

 $K = -1$, $A = 0.263441 \times 10^{-8}$, $B = -0.964788 \times 10^{-11}$ $C = -0.315285 \times 10^{-13}$, $D = -0.299622 \times 10^{-13}$ $D_1 / D = 0.99$, $(h \times f) / (L \times I) = 0.205$, 最小ピッチ = $87 \mu m$

10*【0046】実施例3

焦点距離 = 3.6mm, NA = 0.75, 倍率 = 50, 同焦距離 = 45mm

標本面最大像高 = 0.265mm

*

$r_0 = \infty$	$d_0 = 0.9498$		
$r_1 = -2.2690$	$d_1 = 4.0409$	$n_1 = 1.678$	$\nu_1 = 55.34$
$r_2 = -3.4762$	$d_2 = 0.1$		
$r_3 = 16.9526$	$d_3 = 3.3974$	$n_2 = 1.487$	$\nu_2 = 70.21$
$r_4 = -9.1604$	$d_4 = 0.1$		
$r_5 = -28.7293$	$d_5 = 1.8$	$n_3 = 1.596$	$\nu_3 = 39.29$
$r_6 = 6.5830$	$d_6 = 4.4396$	$n_4 = 1.487$	$\nu_4 = 70.21$
$r_7 = -15.6408$	$d_7 = 0.1$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.0$	$n_5 = 1.516$	$\nu_5 = 64.15$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0$		
$r_{10} = -5.7585 \times 10^6$ (DOE)	$d_{10} = 0.1$	$[n_0 = 10001]$	
$r_{11} = 20.2252$	$d_{11} = 3.6611$	$n_6 = 1.487$	$\nu_6 = 70.21$
$r_{12} = -10.5398$	$d_{12} = 1.8$	$n_7 = 1.596$	$\nu_7 = 39.29$
$r_{13} = 10.7283$	$d_{13} = 3.4719$	$n_8 = 1.487$	$\nu_8 = 70.21$
$r_{14} = -28.0713$	$d_{14} = 9.5097$		
$r_{15} = 24.5125$	$d_{15} = 3.5584$	$n_9 = 1.596$	$\nu_9 = 39.21$
$r_{16} = -8.897$	$d_{16} = 1.8$	$n_{10} = 1.498$	$\nu_{10} = 65.03$
$r_{17} = -18.2382$	$d_{17} = 4.0127$		
$r_{18} = -7.0308$	$d_{18} = 1.8$	$n_{11} = 1.498$	$\nu_{11} = 65.03$
$r_{19} = 15.1697$			

(DOE面)

 $K = -1$, $A = 0.885874 \times 10^{-8}$, $B = -0.373681 \times 10^{-10}$ $C = 0.171463 \times 10^{-11}$, $D = -0.455259 \times 10^{-13}$ $D_1 / D = 0.98$, $(h \times f) / (L \times I) = 0.071$, 最小ピッチ = $80 \mu m$

※【0047】実施例4

焦点距離 = 3.6mm, NA = 0.75, 倍率 = 50, 同焦距離 = 45mm

標本面最大像高 = 0.265mm

*

$r_0 = \infty$	$d_0 = 0.9145$		
$r_1 = -2.6605$	$d_1 = 4.1491$	$n_1 = 1.678$	$\nu_1 = 55.34$
$r_2 = -3.3609$	$d_2 = 0.1$		
$r_3 = 59.4216$	$d_3 = 3.9495$	$n_2 = 1.617$	$\nu_2 = 62.8$
$r_4 = -4.8439$	$d_4 = 1.8$	$n_3 = 1.596$	$\nu_3 = 39.29$
$r_5 = 8.9186$	$d_5 = 4.4558$	$n_4 = 1.439$	$\nu_4 = 94.96$
$r_6 = -11.2459$	$d_6 = 0.1$		
$r_7 = \infty$	$d_7 = 1.0$	$n_5 = 1.516$	$\nu_5 = 64.15$
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0$		
$r_9 = -7.2979 \times 10^6$ (DOE)	$d_9 = 0.1$	$[n_0 = 10001]$	
$r_{10} = 19.9999$	$d_{10} = 3.4234$	$n_6 = 1.439$	$\nu_6 = 94.96$

11

12

$r_{11} = -21.6675$	$d_{11} = 14.4364$		
$r_{12} = 103.5371$	$d_{12} = 6.0$	$n_1 = 1.596$	$\nu_1 = 39.29$
$r_{13} = -11.7643$	$d_{13} = 3.0881$		
$r_{14} = -6.5185$	$d_{14} = 2.7072$	$n_2 = 1.498$	$\nu_2 = 65.03$
$r_{15} = 17.4388$			

(DOE面)

 $K = -1$, $A = 0.136333 \times 10^{-8}$, $B = -0.205407 \times 10^{-10}$ $C = 0.275330 \times 10^{-12}$, $D = -0.502831 \times 10^{-14}$ $D_1 / D = 0.96$, $(h \times f) / (L \times I) = 0.076$, 最小ピッチ = $157 \mu m$

【0048】実施例5

焦点距離 = $36mm$, $NA = 0.20$, 倍率 = 10, 同焦点距離 = $100mm$ 標本面最大像高 = $0.8mm$

$r_0 = \infty$	$d_0 = 10.8729$	
$r_1 = -10.1528$	$d_1 = 7.0$	SiO_2
$r_2 = -12.8207$	$d_2 = 0.2$	
$r_3 = 1185.9548$	$d_3 = 7.0$	SiO_2
$r_4 = -20.8861$	$d_4 = 9.6560$	
$r_5 = 166976.3323$ (DOE)	$d_5 = 0$	$[n_0 = 1001]$
$r_6 = \infty$	$d_6 = 3.0$	SiO_2
$r_7 = \infty$	$d_7 = 36.8382$	
$r_8 = 18.3786$	$d_8 = 5.2879$	CaF_2
$r_9 = -14.5637$	$d_9 = 5.2019$	SiO_2
$r_{10} = 15.9489$	$d_{10} = 3.5421$	
$r_{11} = -9.8983$	$d_{11} = 6.6329$	SiO_2
$r_{12} = -12.7649$	$d_{12} = 0.2$	
$r_{13} = -107.5879$	$d_{13} = 3.4872$	SiO_2
$r_{14} = -38.6725$		

 $D_1 / D = 0.69$, $(h \times f) / (L \times I) = 0.344$, 最小ピッチ = $8.9 \mu m$ ただし、 r_0, r_1, r_2, \dots は各面の曲率半径、 d_0, d_1, d_2, \dots は各面間の間隔、 n_1, n_2, \dots は各レンズの屈折率、 ν_1, ν_2, \dots は各レンズのアッペ数である。【0049】上記データにおいて、 r_0 はいずれも物体面である。又実施例1, 2は水浸系対物レンズで n_0, ν_0 はカバーガラス、 n_1, ν_1 は水であり、実施例3~5の d_0 は作動距離である。更にデータ中のDOEは回折型光学素子で、式(14)にて求められるピッチ d の回折面が形成されている。

【0050】以上の実施例1は図1に、実施例2は図4に、実施例3は図7に又実施例4は図10に示す通りの構成である。これら実施例で用いている回折型光学素子は非球面効果を持たせたものでこれによって球面収差、コマ収差等も良好に補正している。又実施例5は図13に示す構成で低NA、低倍率なので回折型光学素子に非球面効果を持たせる必要はなく、回折型光学素子は色収差のみを補正している。

【0051】実施例1は、近紫外から可視にわたって色

補正を行なった対物レンズで、主として軸上色収差の補正のために光束径の大きい所に回折型光学素子を配置してある。実施例2は、近紫外から可視にわたって色補正を行なった対物レンズで、軸上色収差、倍率の色収差を1枚の回折型光学素子で補正するために光束径が大きくかつ主光線高の高い位置に回折型光学素子を配置している。実施例3は可視域で色補正を行なっている対物レンズであり、実施例4も、1枚の回折型光学素子で軸上色収差、倍率色収差を補正している。更に実施例5は、回折型光学素子により主として軸外色収差を補正し石英と螢石とを接合したレンズで主として軸上色収差を補正している。

【0052】尚各実施例の断面図は、右側が物体側である。また図1, 4, 7, 10における符号Bは胴付位置を示し、夫々レンズ最終面(図において最も左側の面)より物体側に3.6, 0.3526, 0.6477, 1.2300である。実施例5の胴付位置はレンズ最終面より像側に1.0808である。更に各実施例の収差曲線図は、逆追跡により描いたものである。

【0053】

【発明の効果】本発明の対物レンズは、回折型光学素子を用いることによって高NA、高倍率で、諸収差特に色収差を良好に補正したレンズ系である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の断面図

【図2】本発明の実施例1の球面収差、非点収差、歪曲収差曲線図

【図3】本発明の実施例1のコマ収差曲線図

【図4】本発明の実施例2の断面図

【図5】本発明の実施例2の球面収差、非点収差、歪曲収差曲線図

【図6】本発明の実施例2のコマ収差曲線図

【図7】本発明の実施例3の断面図

【図8】本発明の実施例3の球面収差、非点収差、歪曲収差曲線図

【図9】本発明の実施例3のコマ収差曲線図

【図10】本発明の実施例4の断面図

【図11】本発明の実施例4の球面収差、非点収差、歪曲収差曲線図

【図12】本発明の実施例4のコマ収差曲線図

【図13】本発明の実施例5の断面図

【図14】本発明の実施例5の球面収差、非点収差、歪曲収差曲線図

【図15】本発明の実施例5のコマ収差曲線図

【図16】通常ガラスでの屈折状況を示す図

【図17】回折現象による光の屈折状況を示す図

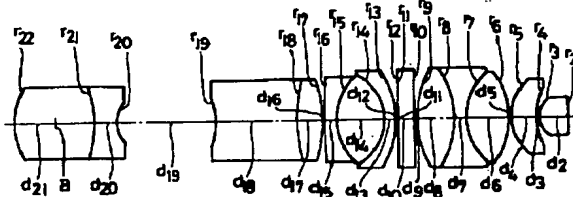
* ものの断面図

【図18】回折型光学素子のブレース化した状態での断面図

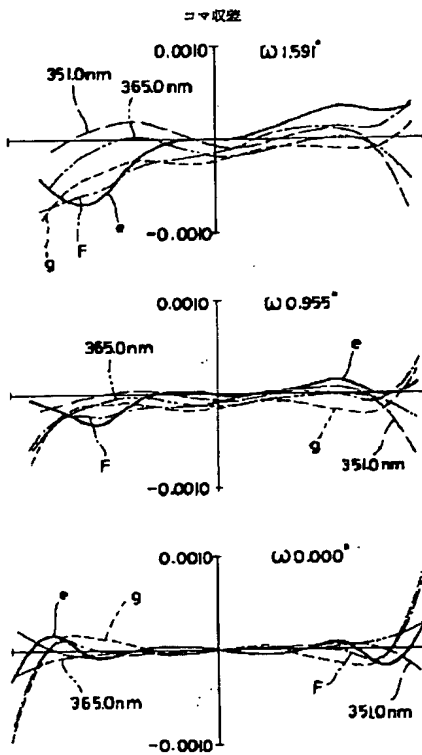
【図20】ウルトラハイ インデックス レンズにおける光の屈折状況を示す図

【図19】回折型光学素子のバイナリー近似を行なった*

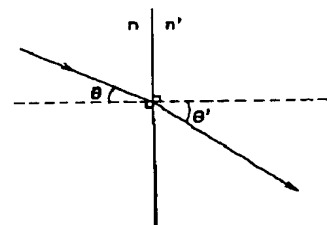
【図1】



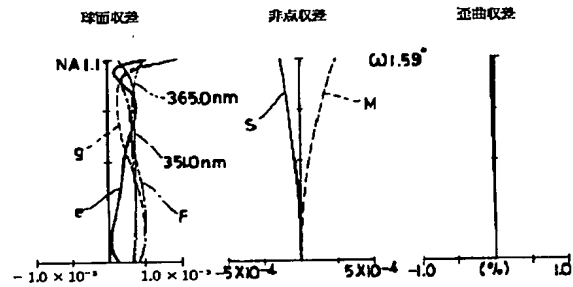
【図3】



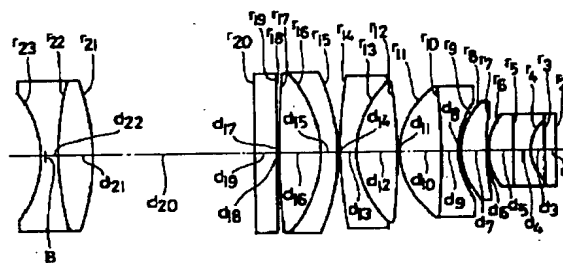
【図16】



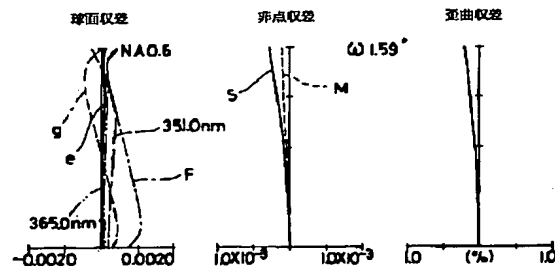
【図2】



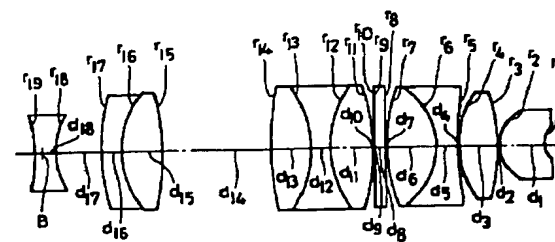
【図4】



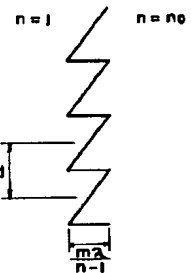
【図5】



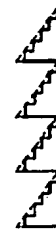
【図7】



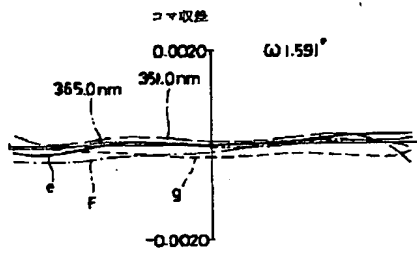
【図18】



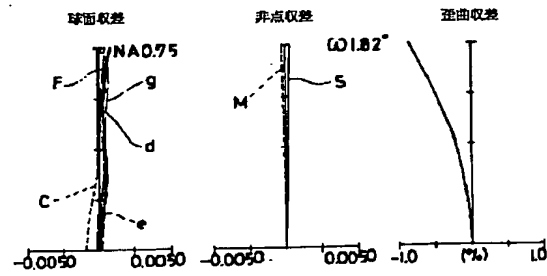
【図19】



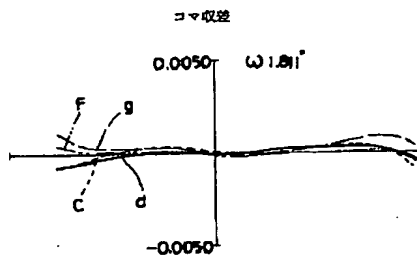
【図6】



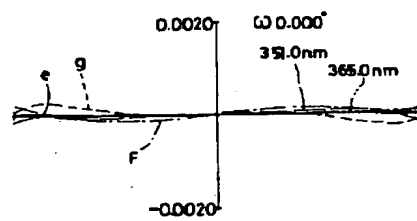
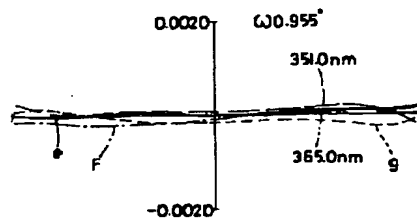
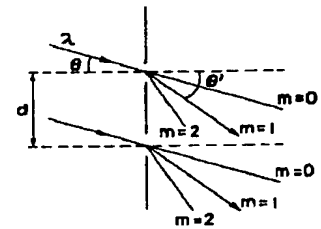
【図8】



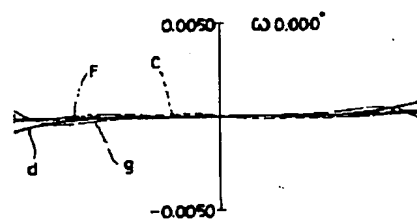
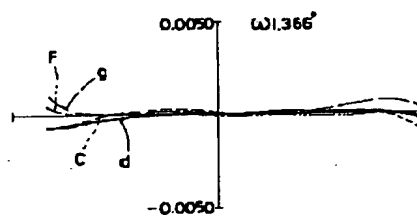
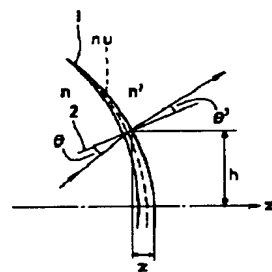
【図9】



【図17】

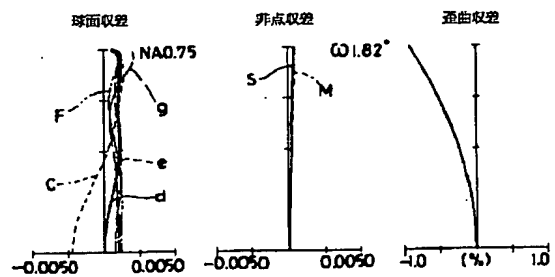
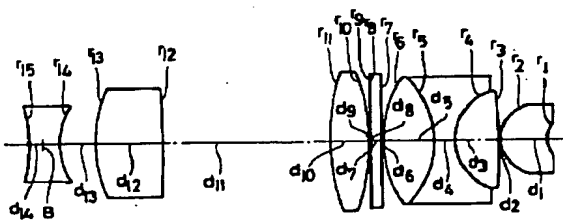


【図20】

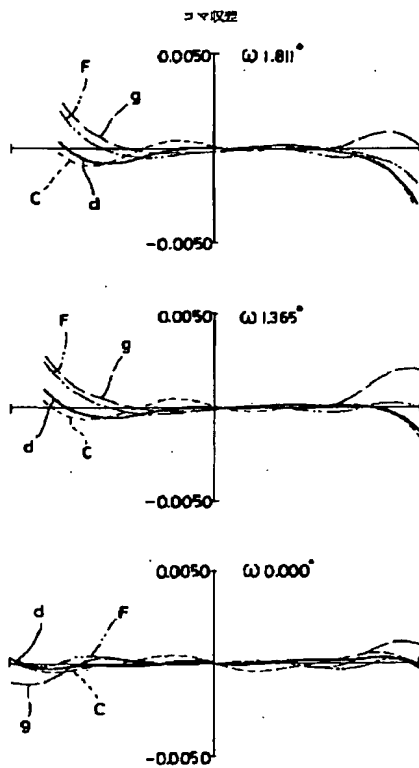


【図10】

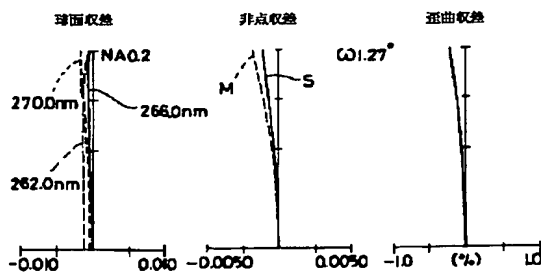
【図11】



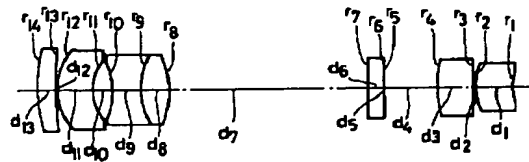
【図12】



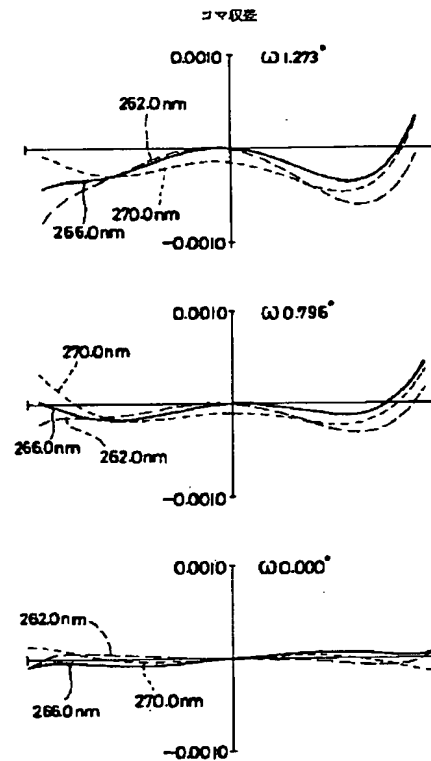
【図14】



【図13】



【図15】



【手続補正書】

【提出日】平成5年11月1日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項2

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項2】回折型光学素子の少なくとも1枚が次の条件(1)、(2)の少なくとも一方を満足する請求項1

の対物レンズ。

(1) $D_1/D > 0.8$ (2) $(h \times f) / (L \times l) > 0.07$

ただし、 D_1 は回折型光学素子の位置でのマージナル光束の径、 D は最大のマージナル光束径、 h は回折型光学素子の位置での主光線高、 f は対物レンズの焦点距離、 L は同焦点距離、 l は標本面での最大像高である。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0004

【補正方法】変更

【補正内容】

【0004】又前記の回折現象を利用した回折型光学素子即ちディフラクティブ オプティカル エLEMENT

〔Diffraction Optical Elements (DOE)〕は、オプトロニクス社発行の「光学デザイナーのための光学エレメント」第6、第7章、および William C. Sweatt 著「NEW METHODS OF DESIGNING HOL*

$$df/d\lambda = -f(dn/d\lambda)/(n-1)$$

$$\therefore \Delta f = -f(\Delta n/(n-1)) \quad (4)$$

ここで係数倍的效果を除くと、 $\Delta n/(n-1)$ が分散特性を表わすことになるので、分散値 ν を次のように定義出来る。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

※

$$\nu_d = \lambda_d / (\lambda_F - \lambda_C) = -3.453 \quad (9)$$

このように回折型光学素子は、非常に大きな負の分散特性を持つ。通常のガラスの分散特性は、約20～95であるので、回折型光学素子は非常に大きな逆分散特性を持つことがわかる。また同様の計算により、回折型光学素子は異常分散性を持つことがわかる。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0028

【補正方法】変更

【補正内容】

【0028】更に色収差を良好に補正するためには、次の条件(1)、(2)の少なくとも一方を満足すること

*OGRAPHIC OPTICAL ELEMENT

S〕(SPIE, VOL. 126, P46-53, 1977)等に記載されているが、その原理を簡単に述べると下記の通りである。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正内容】

【0014】

※【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正内容】

【0019】

が望ましい。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0033

【補正方法】変更

【補正内容】

【0033】以上述べたように、本発明の対物レンズにおいては、その用途に応じて適切な回折型光学素子を前記の条件(1)、(2)の少なくとも一方を満足する位置に配置することが、特に色収差を一層良好に補正する上でより好ましい。

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第2区分

【発行日】平成13年1月19日(2001.1.19)

【公開番号】特開平6-331898

【公開日】平成6年12月2日(1994.12.2)

【年通号数】公開特許公報6-3319

【出願番号】特願平5-142513

【国際特許分類第7版】

G02B 21/02

13/18

【FI】

G02B 21/02 A

13/18

【手続補正書】

【提出日】平成12年5月11日(2000.5.11)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】少なくとも1枚の回折型光学素子と、少なくとも一つの接合レンズとを有することを特徴とする対物レンズ。

【請求項2】回折型光学素子の少なくとも1枚が次の条件(1)、(2)の少なくとも一方を満足する請求項1の対物レンズ。

(1) $D_1 / D > 0.8$

(2) $(h \times f) / (L \times I) > 0.07$

ただし、 D_1 は回折型光学素子の位置でのマージナル光束の径、 D は最大のマージナル光束径、 h は回折型光学素子の位置での主光線高、 f は対物レンズの焦点距離、

L は同焦点距離、 I は標本面での最大像高である。

【請求項3】前記少なくとも一つの接合レンズの両レンズのアップ数差 $\Delta\mu$ が、下記条件(3)を満足する請求項1又は2の対物レンズ。

(3) $\Delta\mu > 2.0$

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正内容】

【0022】しかし、これらの従来例は、ピックアップレンズタイプであり、より複雑な構成を要する顕微鏡対物レンズに対応できない。またステッパレンズタイプは、低倍率の顕微鏡対物レンズには適用し得る可能性はあるが、高倍率、高NAの顕微鏡対物レンズには適用出来ない。つまり、対物レンズの色収差補正を回折型光学素子のみで行なう場合、回折型光学素子のパワーを強くしなければならず、回折型光学素子の最小ピッチが制作不能なまで小さくなるためである。